

**И. О. Погребной**, аспирант

Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,  
кафедра физической географии и природопользования,  
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОДНО-ЭРОЗИОННОГО ПРОЦЕССА В БАССЕЙНАХ МАЛЫХ РЕК

В статье рассмотрены основные составляющие, входящие в природноресурсный банк пространственных данных, как основы геоинформационного моделирования водно-эрозионных процессов в пределах бассейнов малых рек. Описаны этапы создания базовых и производных цифровых карт, являющихся фундаментом для изучения протекания процессов эрозии и аккумуляции почв на примере верховья бассейна реки Малый Куяльник.

**Ключевые слова:** водная эрозия почв, ГИС, геоинформационное моделирование, банк пространственных данных, ЦМР.

### Введение

Исследование бассейнов малых рек обусловлено усилением антропогенной деятельности на их природную среду, активным реагированием состояния компонентов бассейновых ландшафтов, активизацией развития эрозионно-аккумулятивных процессов, ухудшением экологического состояния, необходимостью обоснования рационального природопользования в бассейнах малых рек в условиях интенсивного проявления водной эрозии, а также реализацией комплекса природоохранных мероприятий. Растущее влияние общества на окружающую среду нуждается в проведении комплексных исследований с целью анализа и оценки антропогенных изменений в бассейнах малых рек.

На сегодняшний день все больше ухудшается состояние земельных и водных ресурсов в бассейнах малых рек Украины. Из-за интенсивного проявления эрозионно-аккумулятивных процессов многие малые реки обмелели, заросли и в значительной мере утратили свою ценность. Происходит абсолютное уменьшение объемов земельных ресурсов — основного средства производства в земледелии. Истощение земельных и водных ресурсов затрагивает, в первую очередь, интересы сельского хозяйства, несут убытки такие отрасли как транспорт, водное, рыбное и коммунальное хозяйства. Поэтому сложившаяся ситуация с малыми реками продолжает оставаться одной из главных географических проблем, и решение ее является первоочередной задачей для многих специалистов, ученых, хозяйственников и широкого круга общественности.

Возможность изучения водно-эрозионных процессов, в современных условиях, предоставляют геоинформационные (ГИС) технологии — компью-

терные технологии работы с пространственно-распределенными данными, все более набирающие популярности среди исследователей.

Современным инструментом решения задач, связанных с обоснованием рационального использования земельных и водных ресурсов в бассейнах малых рек и устойчивого развития эрозионно-опасных земель в целом, является моделирование эрозионно-аккумулятивных процессов. Одним из наиболее мощных существующих видов моделирования водно-эрозионных процессов является геоинформационный.

Первым этапом реализации геоинформационного моделирования на основе теоретических (физически обоснованных) моделей эрозионных процессов, которые полностью реализованы средствами технологий географических информационных систем, является концептуальное проектирование базы данных и создание банка атрибутивных (цифробуквенных) и картографических (пространственно распределенных) данных. Атрибутивная информация, являющаяся неотъемлемой частью любой базы данных, включает: значения гидрометеорологических факторов ливневого и весеннего смыва, характеристику генетических разновидностей почв на склонах и экспозиции склонов, а картографическая — электронный вариант бумажных карт и созданные цифровые карты.

## **Материалы и методы исследований**

Анализ теоретических работ отечественных и зарубежных исследователей в сфере геоинформационного моделирования водно-эрозионного процесса дал возможность определить оптимальный при современных условиях подход к обоснованному информационному обеспечению такого рода моделирования. Исходными материалами стали литературные источники, в том числе монографии, публикации в периодической научной печати, методические указания и руководства по моделированию, справочные издания, а также картографический материал и космоснимки. На основе их выполнено обобщение структуры банка данных для геоинформационного моделирования на примере пространственно-распределенной Лимбургской модели водной эрозии почв — Limburg Soil Erosion Model (LISEM), реализованной с использованием геоинформационных технологий. Данная модель, разработанная в университете г. Утрехта (Нидерланды), апробированная в условиях Украины в рамках международного проекта SPARTACUS [6], описывает все основные процессы, участвующие в формировании смыва почвы и транспорта продуктов разрушения по поверхности склонов и в русловой сети: от перехвата осадков растительностью и инфильтрации до отделения частиц почвы каплями дождя и транспортирующей способности потока [3]. В модели учитывается также влияние на гидрологические и эрозионные процессы следов тракторных (и другой сельскохозяйственной техники) колес, нешироких (с шириной, меньшей чем размер ячейки расстра) асфальтированных дорог и поверхностного уплотнения почвы.

Использованы методы, приёмы и способы изучения эрозионных процессов — от теоретических обобщений до картографического анализа и гео-

информационного моделирования с использованием ГИС-пакетов MapInfo Professional версии 6. 0 и PCRaster.

### **Результаты исследований и их анализ**

Создание банка входных данных для бассейна малой реки начинается с поиска и систематизации подлежащей (первичной) информации по исследуемой территории, которую можно объединить в три основных блока банка пространственных и атрибутивных данных: рельеф и его морфометрические характеристики, генетические виды почв и землепользование. Пространственно распределенные данные, представленные в этих блоках вслед за [1], можно разделить на базовые и производные. Базовые слои информационного обеспечения эрозионного моделирования — это картографические слои данных, характеризующие основные компоненты природно-хозяйственных систем, которые могут быть получены только путем оцифровки исходных (первичных) материалов. Производные данные — информационные слои, которые формируются на основе базовых средствами ГИС. К базовым слоям информационного обеспечения эрозионного моделирования в бассейне малой реки следует, во-первых, отнести три “компонентные” цифровые карты: рельефа, почвенную и землепользования, во-вторых, карты, характеризующие противоэрозионную инфраструктуру территории — гидротехнические противоэрозионные сооружения, направления обработки почвы, противоэрозионные агротехнические мероприятия.

Рельеф территории характеризует создаваемая на основе оцифровки крупномасштабной топографической карты цифровая модель рельефа (ЦМР), генетические виды почв — цифровая почвенная карта, а структура землепользования характеризуется цифровой картой землепользования, источником создания для которой служат схемы внутрихозяйственного землеустройства находящихся в пределах водосбора хозяйств и космические снимки высокого и сверхвысокого пространственного разрешения.

ЦМР составляет основу для пространственной реализации моделирования эрозионного процесса. Основным источником достоверной пространственной информации для построения ЦМР являются топографические крупномасштабные карты, выбор же масштаба определяется необходимостью построения гидрологически-корректной ЦМР. Поэтому необходимы, как показали ранее проведенные исследования [1,3,5], топографические карты масштаба не мельче 1:25000, еще лучше использование масштаба 1:10000, а для небольших водосборов — и крупнее, но это ведет к резкому увеличению затрат на создание ЦМР и предъявляет повышенные требования к вычислительным ресурсам.

Использование для создания ЦМР стандартных инструментальных средств современных ГИС-пакетов требует для повышения точности увеличения количества точек ввода, особенно при применении ЦМР для моделирования эрозионных процессов, то есть в том случае, когда стоит вопрос о создании “гидрологически корректной” ЦМР [1]. При построении такой ЦМР трудно обойтись без дополнительной оцифровки структурных линий:

основных и вторичных водоразделов, тальвегов, элементов гидрографической сети, бровок и перегибов склонов. Точки должны проставляться таким образом, чтобы в точности повторяли изгибы горизонталей, линии водораздела и днищ балок. Такая оптимальная схема расстановки точек зачастую дает больший эффект, чем увеличение плотности оцифровки вдоль горизонталей.

Примером создания ЦМР бассейна малой реки может служить верхняя часть бассейна реки Малый Куяльник до створа с. Бирносово, расположенная в пределах территории Фрунзовского р-на Одесской области. Размеры данного водосбора составляют с севера на юг (длина) — 7,5 км, а с запада на восток (ширина) — 5,4 км, общей площадью в 2350 га. Для целей геоинформационного моделирования водно-эрозионного процесса для данной территории основой послужила карта масштабом 1:25000. Ввод информации о рельефе в компьютер произведен методом экранного дигитизирования по предварительно отсканированной в среде ГИС-пакета MapInfo Professional версии 6. 0 [2] подложке, в качестве которой выступала топографическая карта. Общее количество точечных объектов, введенных вручную, при оцифровке всех элементов рельефа верхней части бассейна реки Малый Куяльник составило 10660 значений.

В среде ГИС-пакета Surfer [2] основным размером ячейки растра для создаваемой цифровой модели рельефа была выбрана оптимальная величина 10x10 м [1], таким образом, общий размер растра составил 806x650 ячеек, общим количеством 520030 ячеек.

В дальнейшем реализация построения ЦМР осуществляется с помощью существующих методов пространственной интерполяции. В условиях выраженной пространственной неоднородности поверхности наиболее перспективным является применение значительно более объективного геостатистического метода, известного как метод крайгинга по имени южноафриканского горного инженера Д. Дж. Крайге (D. G. Krige), использующего пространственную автокорреляцию физических переменных. Данный метод, в отличие от других методов интерполяции, дает статистически более надёжные результаты и позволяет не только прогнозировать значение картографируемой поверхности в неизвестной точке, но также определять точность (погрешность) прогнозирования.

Обязательным условием после создания цифровой модели рельефа является ее анализ и сопоставление с исходной топографической картой, так как эта модель должна корректно описывает рельеф, включая тальвеги балок и днище речной долины. Это дает возможность рассматривать модель как гидрологически-корректную и использовать для целей геоинформационного моделирования водно-эрозионного процесса. Созданная ЦМР верховья реки Малый Куяльник представлена на рисунке 1.

Источниками создания базовых цифровых карт почв и землепользования служат соответственно карта генетических видов почв и схема внутрихозяйственного землеустройства М 1:10000, а также для точности оцифровки и корректировки данных, соответствия современному состоянию территории исследования используется космический снимок высокого раз-

решения. Перевод их в цифровую форму может быть выполнен с использованием широкого набора программных средств, включая универсальные ГИС-пакеты, поддерживающие процесс цифрования, и такие специализированные пакеты как MapEdit, Easy Trace, Digitals и др. Основная проблема, которая при этом должна быть решена, — обеспечение пространственного совпадения построенной цифровой карты с другими базовыми информационными слоями.

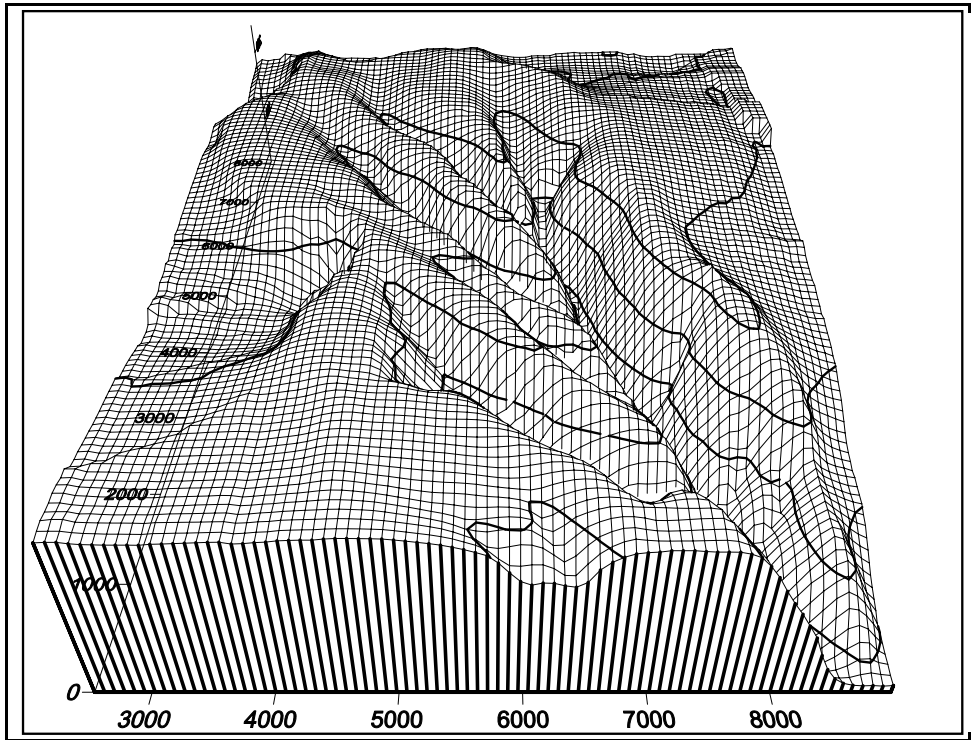


Рис. 1. Трехмерная цифровая модель рельефа верхней части бассейна реки М. Куляльник

Важной задачей при создании цифровой карты почв и землепользования является разработка классификаторов. Для создания базовой цифровой карты землепользования, в зависимости от назначения категорий имеющихся земель в пределах бассейна малой реки, карта землепользования разделяется на отдельные картографические слои (севообороты, пашни, пастбища, сады, лесополосы, луга и т. д.). Для базовой цифровой карты почв почвы территории бассейна реки классифицируют по типу, подтипу, роду, виду и разновидности.

После разработки классификаторов осуществляется послойная оцифровка всех существующих картографических слоев и почвенных контуров в среде ГИС-пакета MapInfo Professional версии 6. 0.

Построение производных карт реализуется с помощью ГИС-пакета PCRaster [4] на основе имеющихся базовых цифровых карт, созданного на кафедре физической географии университета г. Утрехта в 1991 году. Современная версия пакета PCRaster — это результат разработки группы специалистов из Утрехтского университета и коммерческой фирмы PCRaster Environmental Software (Нидерланды).

На основе ЦМР создаются производные цифровые карты, характеризующие морфометрические и гидравлические свойства поверхности — карта местных линий тока, уклонов, площади водосбора, “вышележащих элементов” (каждая ячейка которой содержит величину площади, с которой данная ячейка получает водное питание), расположение замыкающих створов, русловой сети, количества метеостанций, параметра шероховатости Маннинга и т. д. Также создаются цифровые карты, характеризующие русло самой реки, — карты линий тока в русле, уклонов русла, сцепления почв в русле, ширины русла реки и откосов берегов русла.

На основе цифровой карты землепользования строятся производные карты, характеризующие растительный покров в пределах водосбора, — карты индекса листовой поверхности, проективного покрытия и высоты растений.

Производные карты, характеризующие структуру водно-физических свойств почвенного покрова, строятся на основе цифровой карты почв. Такими картами являются карты предшествующей дождю влажности, влагоемкости, гидравлической проводимости, щебнистости, устойчивости почвенных агрегатов, медианного диаметра переносимых потоком частиц, “неупорядоченной шероховатости”, стабильности агрегатов и сцепления активного слоя почвы.

Вся вышепредставленная информация может быть отображены в виде простой блок-схемы, показанной на рисунке 2.

Таким образом, банк картографических данных включает еще около 30 производных растровых карт на основе базовых цифровых карт, характеризующих рельеф, почвы, гидрографическую сеть, растительный покров, хозяйственную деятельность, пункты наблюдений, требующихся для использования в модели LISEM.

Основным результатом геоинформационного моделирования являются карты “эрозии” и “аккумуляции”. Алгебраическое сложение содержания этих карт с использованием аналитических возможностей ГИС-пакетов позволяет получить карту эрозии-аккумуляции, в каждой ячейке которой содержится величина смыва или аккумуляции за дождь, выраженная в тоннах с гектара. Кроме этого, по результатам моделирования для заданных расчетных интервалов строятся карты поверхностного стока в миллиметрах слоя. Для замыкающих створов (не более трех) в табличной форме выводятся расходы воды и концентрации наносов для каждого временного шага расчетов, что позволяет строить соответствующие графики временно-го хода.



Рис. 2. Структура банка данных пространственного эрозионного моделирования

## Выводы

Для целей геоинформационного моделирования водно-эрозионного процесса в бассейне малой реки разработана структура банка входных данных с использованием возможностей существующих ГИС-пакетов, на примере программно-реализованной Лимбургской модели водной эрозии — LISEM (Limburg Soil Erosion Model). Создана система базовых и производных цифровых карт пространственно распределенных данных для верхней части бассейна реки Малый Куяльник как основы геоинформационного моделирования эрозионно-аккумулятивных процессов.

## Литература

1. Світличний О. О., Плотницький С. В. Геоінформаційні технології в природокористуванні: проблема просторових даних // Геоінформатика. — 2002. — № 4. — С. 41–47.

2. *Світличний О. О., Плотницький С. В.* Основи геоінформатики. Навчальний посібник / Загальна ред. О. О. Світличного. — Суми: ВТД “Університетська книга”, 2006. — 295 с.
3. *Светличный А. А., Черный С. Г., Швобс Г. И.* Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты. — Сумы: Университетская книга, 2004. — 411 с.
4. *PCRaster manual*, version 2. — Utrecht: Faculty of Geographical Sciences Utrecht University & PCRaster Environmental Software, 1998. — 368 p.
5. *SPARTACUS: Spatial redistribution of radionuclides within catchments: development of GIS-based models for decision support systems.* EC Contract № IC15-CT98-0215. Final Report. M. Van der Perk, A. A. Svetlitchnyi, J. W. den Besten and A. Wielinga (eds). — Utrecht Centre for Environmental and Landscape Dynamics Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University, The Netherlands, 2000. — 165 p.

### **І. О. Погребний**

Одеський національний університет,  
кафедра фізичної географії і природокористування,  
вул. Дворянська, 2, Одеса-82, 65082, Україна

## **ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНО-ЕРОЗІЙНОГО ПРОЦЕСУ В БАСЕЙНАХ МАЛИХ РІЧОК**

### **Резюме**

У статті розглянуті основні складові, які входять до природо-ресурсного банку просторових даних, як основи геоінформаційного моделювання водно-ерозійного процесу в межах басейнів малих річок. Описані етапи створення базових та похідних цифрових карт, які є фундаментом для вивчення протікання процесів ерозії та акумуляції ґрунту на прикладі верхньої частини басейну річки Малий Куяльник.

**Ключові слова:** водна ерозія ґрунтів, ГІС, геоінформаційне моделювання, банк просторових даних, ЦМР.

### **I. O. Pogrebnoy**

Odessa National University,  
Department of Physical Geography and Nature Management,  
Dvorianskaya St., 2, Odessa-82, 65082, Ukraine

## **INFORMATIVE PROVIDING OF GEOINFORMATION MODELING OF WATER-EROSION PROCESSES IN POOLS OF THE SMALL RIVERS**

### **Summary**

Basic components, included in the nature-resources bank of spatial data, as bases of geoinformation modeling of water-erosion processes within the limits of pools of the small rivers, are considered in the article. Described stages of creation of base and derivatives digital maps, which are foundation for the study of flowing of processes erosion and accumulation of soils on the example of riverhead of river basin Maliy Kuyal'nik.

**Key words:** soil erosion, GIS, geoinformation modeling, bank of spatial data, DEM.